



**6 - 9 сентября 2011, СумГУ, г. Сумы, Украина**

**XIII Международная научно-техническая конференция "ГЕРВИКОН-2011"**

**Международный форум "НАСОСЫ-2011"**

**Семинар "ЭККОН-11"**

## **ОПЫТ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ ДЛЯ ГАЗЛИФТНОЙ ДОБЫЧИ НЕФТИ.**

**Минько В.М.<sup>1</sup>, Овсейко И.В.<sup>2</sup>, Филоненко Ю.С.<sup>3</sup>**

### **АННОТАЦИЯ**

*Проведен сравнительный анализ эксплуатационных характеристик пятиколовочных опорных подшипников и демпферных подшипников с самоустанавливающимися вкладышами на гидростатическом подвесе. Описаны преимущества упругих соединительных муфт в сравнении с зубчатыми.*

**Ключевые слова:** пятиколовочный опорный подшипник, демпферный подшипник с самоустанавливающимися вкладышами на гидростатическом подвесе, зубчатая муфта, муфта с упругими металлическими элементами.

При эксплуатации компрессорных установок для газовой и нефтяной промышленности довольно часто возникают проблемы, связанные с работой соединительных муфт и узлов подшипников. Зачастую преждевременный выход из строя этих узлов становится причиной незапланированных простоев и, как следствие, существенных убытков предприятия. Поэтому задача модернизации компрессорного оборудования с целью повышения надежности работы узлов подшипников и соединительных муфт является весьма актуальной.

<sup>1</sup> Минько Виктор Михайлович, ведущий инженер, ПАО «СМНПО им. М.В. Фрунзе» ул. Горького, 58, 40004 г. Сумы, Украина.

<sup>2</sup> Овсейко Игорь Викторович, гл. конструктор, ООО «ТРИЗ», ул. Машиностроителей, 1, 40020, г. Сумы, Украина.

<sup>3</sup> Филоненко Юрий Сергеевич, руководитель проекта, ООО «ТРИЗ», ул. Машиностроителей, 1, 40020, г. Сумы, Украина.

В настоящее время на большинстве газоперекачивающих агрегатов используются, как правило, пятиколодочные опорные подшипники с самоустанавливающимися колодками. Такие подшипники обладают рядом серьезных недостатков, среди которых можно выделить следующие:

- большие потери мощности и расходы смазки, обусловленные наличием масляной ванны;
- недостаточная демпфирующая способность, особенно при низкочастотных вибрациях;
- недостаточная несущая способность;
- большая прецессия ротора;
- повышенный механический износ корпуса подшипника под колодками, «просадка подшипника»;
- отсутствие защиты от электрохимической коррозии.

В результате недостаточная несущая и демпфирующая способности пятиколодочных подшипников приводит к их интенсивному износу, особенно в пусковых и переходных режимах. Из-за большой прецессии ротора требуются повышенные зазоры в лабиринтных уплотнениях, которые еще больше увеличиваются в процессе эксплуатации из-за износа и «просадки» подшипника, а это ведет к повышенным протечкам через лабиринтные уплотнения и, как следствие, к снижению КПД агрегата и дополнительным потерям мощности.

Фирмой «ТРИЗ»<sup>®</sup> накоплен богатый опыт проектирования, изготовления и эксплуатации опорных демпферных подшипников с самоустанавливающимися вкладышами на гидростатическом подвесе для центробежных компрессорных и насосных агрегатов, турбин, электродвигателей. Диапазон поставок:

- диаметр шеек валов от 45 до 280 мм,
- частота вращения от 3000 до 25000 об/мин
- нагрузки на подшипник от 60 кгс до 17000 кгс.

Опорные демпферные подшипники на гидростатическом подвесе производства ООО «ТРИЗ»<sup>®</sup> защищены патентами Украины [1], Российской Федерации[2] и Республики Беларусь[3].

Опыт эксплуатации свидетельствует о том, что среди подшипников скольжения трех сегментные подшипники с самоустанавливающимися вкладышами на гидростатическом подвесе не имеют альтернативы благодаря следующим преимуществам:

- надёжность и долговечность;
- низкий износ, стабильность зазоров;
- высокая несущая способность;

- высокие демпфирующие свойства и устойчивость в широком диапазоне частот вращения ротора;
- работоспособность вблизи помпажной зоны и критических частот вращения;
- работоспособность в широком диапазоне зазоров между валом и подшипником, что позволяет без ущерба для демпфирования уменьшить зазоры в уплотнениях и повысить экономичность агрегата; простота и компактность конструкции, возможность установки взамен других типов подшипников скольжения;
- ремонтпригодность – возможность при помощи технологической оправки расточить вкладыши под фактический размер шейки ремонтного вала с требуемым зазором;
- низкие потери мощности на трение и расход смазки.

Схема опорного демпферного подшипника приведена на рисунке 1. Подробно принцип действия подшипника и его преимущества по сравнению с другими типами подшипников изложены в работе [4].

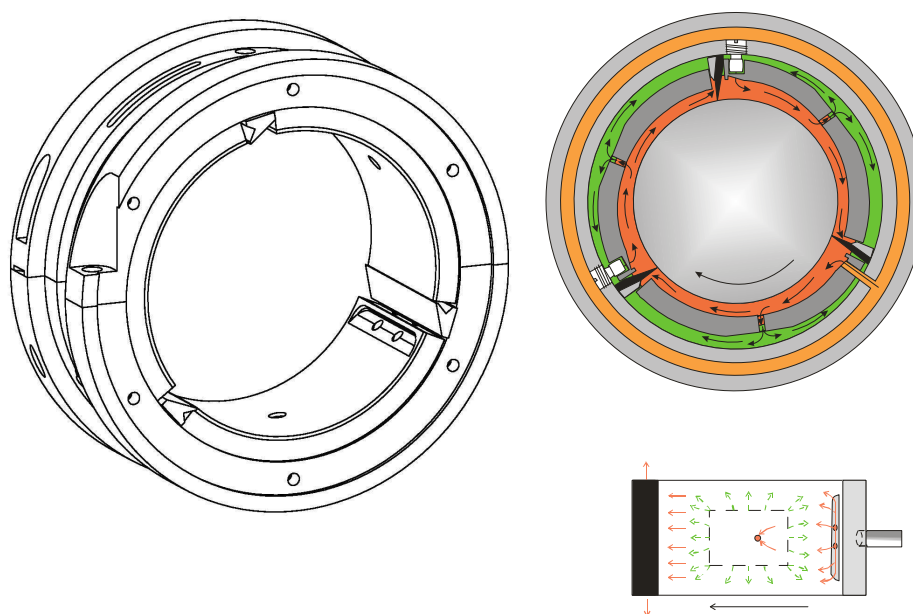


Рисунок 1 - Радиальный подшипник с самоустанавливающимися вкладышами на гидростатическом подвесе

Благодаря высоким эксплуатационным качествам, опорный демпферный подшипник с самоустанавливающимися вкладышами на гидростатическом

подвесе широко и успешно применяется фирмой «ТРИЗ»<sup>®</sup> для повышения надежности компрессорных агрегатов и позволяет успешно решать проблемы компрессорного оборудования в нефтяной и газовой промышленности.

Так специалисты фирмы "ТРИЗ"<sup>®</sup> провели модернизацию газлифтного турбокомпрессорного агрегата поз. ТКА-302 Качановского газоперерабатывающего завода Анастасьевского цеха ОАО "УКРНАФТА". Следует отметить, что на газлифтных компрессорах поз. ТКА-102, 202 и 302 упомянутого предприятия, подшипники оказались одними из самых нагруженных и наиболее уязвимых узлов. Так, за период пуско-наладочных работ с сентября 1998 г. и эксплуатации с сентября 2001 г. 22 раза выходили из строя подшипники компрессоров и 13 раз подшипники мультипликаторов М-260.

Анализ работы штатных подшипниковых узлов показал, что наиболее часто подшипники мультипликатора выходят из строя во время остановов агрегата, причем не только аварийных, но и нормальных. Выполненные расчеты подтвердили предположение о том, что вероятной причиной их выхода из строя может быть потеря несущего гидродинамического клина при останове машины на скорости скольжения, превышающей максимальную допустимую скорость для баббита, используемого в опорных колодках. После всестороннего анализа условий работы подшипниковых узлов специалисты ООО "ТРИЗ"<sup>®</sup> разработали конструкцию опорных подшипников с гидростатическим подвесом вкладышей для мультипликатора и турбокомпрессора. Благодаря конструкции самоустанавливающихся вкладышей на гидростатическом подвесе, обеспечивается устойчивая работа подшипников на переходных и нестационарных режимах.

На турбокомпрессорном агрегате поз. ТКА-302 в январе 2003 г. были применены фирмой "ТРИЗ"<sup>®</sup> демпферные подшипники ПД-100 на мультипликаторе М-260, а в феврале 2003г. - демпферные подшипники ПД-70 на компрессоре.

Если до января 2003 г. на ТКА-302 было заменено четыре комплекта подшипников компрессора и семь – мультипликатора, то после перехода на демпферные подшипники эта проблема была решена и полностью снята с повестки дня. В частности, на 1 июля 2003 наработка демпферных подшипников фирмы "ТРИЗ"<sup>®</sup> составила 2000 часов на мультипликаторе и 1640 часов на компрессоре, при этом за данный период по разным причинам произошли: один экстренный останов, пять аварийных остановов и одиннадцать нормальных остановов агрегата. Все эти остановки демпферные подшипники выдержали и продолжают работать по настоящее время.

При этом максимальный уровень вертикальной вибрации ротора

компрессора ТКА-302 не превышал 1,4 мм/с на подшипнике со стороны муфты. Уровни горизонтальной и осевой составляющей вибрации на этом подшипнике были ниже – 0,84 мм/с. Ниже также были зафиксированы максимальные уровни вибрации на подшипнике со стороны свободного конца вала: 1,07 мм/с – вертикальная составляющая, 1,01 мм/с – горизонтальная составляющая и 0,84 мм/с – вертикальная составляющая. Данные этих замеров подтверждают высокие демпфирующие свойства модернизированных узлов подшипников.

На сегодняшний день все турбокомпрессорные агрегаты газлифтной станции «Анастасиевка» переведены на демпферные подшипники фирмы «ТРИЗ®».

Однако тот факт, что подшипник агрегата ТКА-302, расположенный со стороны муфты, имеет сравнительно более высокий уровень вибрации, указывает на то, что соединительные муфты могут оказывать существенное влияние как на вибрационное состояние агрегата, так и на надежность его работы. Поэтому рассмотрим еще одну актуальную проблему эксплуатации компрессорных установок для газовой и нефтяной промышленности, которой является работа соединительных муфт. Типичные проблемы, возникающие при эксплуатации широко распространенных в таких установках зубчатых муфт, приведены в работе. Остановимся на одной из наиболее характерных на примере газоперекачивающего агрегата ГПА-Ц-16.

Соединительная муфта этого агрегата имеет жесткую осевую связь с ротором свободной турбины (дисковая муфта); со стороны ротора нагнетателя она освобождена, что обеспечивает осевое перемещение торсионного вала за счет проскальзывания в зубчатой паре. Величина максимального относительного перемещения валов агрегата с учетом температурного прогрева конструкции и сдвига в подшипниках нагнетателя и свободной турбины составляет  $\approx 8$  мм, что должно компенсироваться зубчатой муфтой. Однако, при пуске этого агрегата большой крутящий момент на зубчатой паре муфты вызывает значительную силу нормального давления по рабочим поверхностям зубьев, что приводит к большой силе трения и ограничивает свободное осевое перемещение валов установки. Вследствие этого в пусковые моменты из-за прогрева конструкции на постоянных оборотах возрастает осевая сила на подшипник свободной турбины, отмечается резкое сбрасывание осевых сил до нулевых значений при проскальзывании в шлицах муфты и возникает усилие, действующее в противоположную сторону. Затем нарастание силы повторяется несколько раз в течение прогрева до момента стабилизации температуры конструкции. По данным замеров осевой силы на подшипник свободной турбины при выходе на рабочий режим и на номинальных оборотах свободной турбины  $n_{ст} = 5300$  об/мин отмечается рост осевой силы в сторону двигателя до

4000...4500 кгс и до 500 кгс в противоположную сторону, при том, что остаточная газодинамическая сила не превышает 1500 кгс.

Процесс возрастания осевой силы, сбрасывание и действие ее в противоположную сторону даже в непродолжительные пусковые периоды (в течение не более полутора часов начальной работы установки) могут неблагоприятно сказываться на работе осевых подшипников установки. Решить указанную проблему и добиться компенсации осевых перемещений ротора установки в момент прогрева без резкого возрастания и перекладки осевой силы позволяет модернизация компрессорного агрегата, связанная с изменением конструкции соединительной муфты, и в частности, замена штатной зубчатой муфты агрегата на упругую с металлическими элементами.

Муфты с упругими металлическими элементами фирма "ТРИЗ®" разрабатывает и изготавливает с 1990 года, и с тех пор ведет работу по совершенствованию их конструкций и расширению номенклатуры с целью удовлетворения возрастающих требований к муфтам, таких как передача больших крутящих моментов, высокая частота вращения, оптимизация упруго-массовых характеристик.

Основным преимуществом муфт с упругими металлическими элементами является их высокая компенсирующая способность, или способность работать при смещенных осях валов без создания значительных дополнительных нагрузок на валы и их опоры. Низкие реактивные силы благоприятно влияют на роторную систему, срок службы которой меньше зависит от точности центровки валов. Муфты одновременно обладают жесткостью в отношении кручения и гибкостью в осевом и угловом направлении, компенсируя значительные величины расцентровки валов, в том числе несоосность.

Поэтому замена штатной муфты ГПА-Ц-16 на упругую с металлическими элементами позволяет решить проблему нежелательных нагрузок в пусковые и переходные режимы, и добиться необходимой компенсации осевых перемещений ротора.

Еще одним весомым положительным качеством упругих муфт являются их высокие виброизолирующие свойства, или способность демпфировать вибрации, передающиеся по валопроводу, за счет упругих свойств пакетов мембран. Длительный ресурс работы и динамическая стабильность муфт обеспечены также низким дисбалансом и отсутствием изнашивающихся трущихся элементов. Муфты с упругими металлическими элементами не требуют смазки, постоянного обслуживания. В случае маловероятной поломки мембран (только при многократных перегрузках) муфты имеют аварийный привод для передачи крутящего момента.

В настоящее время ООО "ТРИЗ®" накоплен опыт по проектированию, изготовлению и внедрению в эксплуатацию упругих муфт с различными

типами упругих элементов. Проведен большой комплекс работ по изучению преимуществ каждого из типов, испытанию различных материалов упругих элементов, разработке методик расчета, что позволило определить область оптимального применения каждого типа упругих элементов.

Наиболее надежными в эксплуатации и удовлетворяющими разнообразным требованиям заказчиков зарекомендовали себя муфты с пакетами из кольцевых упругих элементов с фасонными вырезами типа МСК (рис. 2).

В настоящий момент они составляют основу номенклатуры упругих муфт, поставляемых фирмой "ТРИЗ<sup>®</sup>", и все вышеперечисленные достоинства муфт с пакетами упругих металлических элементов подтверждаются опытом их эксплуатации на многих предприятиях химической и нефтегазовой промышленности стран СНГ. Большое конструктивное разнообразие муфт с упругими металлическими элементами, разрабатываемых и изготавливаемых ООО "ТРИЗ<sup>®</sup>", позволяет их проектировать с учетом всех особенностей агрегата и условий эксплуатации муфты. В результате накопленного за 20 лет опыта в фирме "ТРИЗ<sup>®</sup>" выработана система проектирования упругих муфт, направленная на обеспечение их высокого качества и удовлетворение всех требований заказчиков.

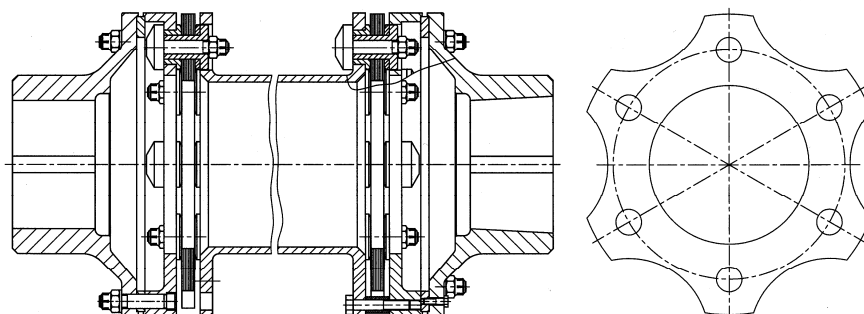


Рисунок 2 – Муфта с упругими металлическими элементами типа МСК конструкции ООО "ТРИЗ<sup>®</sup>"

В настоящий момент в ООО "ТРИЗ<sup>®</sup>" спроектирована и изготовлена муфта МСК-380 (см. рис. 3) с упругими элементами для газлифтного агрегата ТКА-302. Ввод ее в эксплуатацию, поспособствует дальнейшему повышению надежности работы агрегата.

Анализ практических результатов показал, что наиболее эффективной является комплексная модернизация компрессорного оборудования, включающая замену узлов штатных опорных и упорных подшипников на подшипники с повышенной несущей и демпфирующей способностью, а

также установку упругих соединительных муфт с повышенными компенсирующими и виброизолирующими свойствами взамен штатных зубчатых муфт. Высокая эффективность обусловлена оригинальными и взаимно дополняющими друг друга свойствами модернизированных узлов, позволяющими в комплексе решать широкий спектр технических проблем, связанных с повышенными вибрациями, сдвигом ротора, низким ресурсом подшипников и уплотнений, неустойчивой работой оборудования в пусковых и переходных режимах.

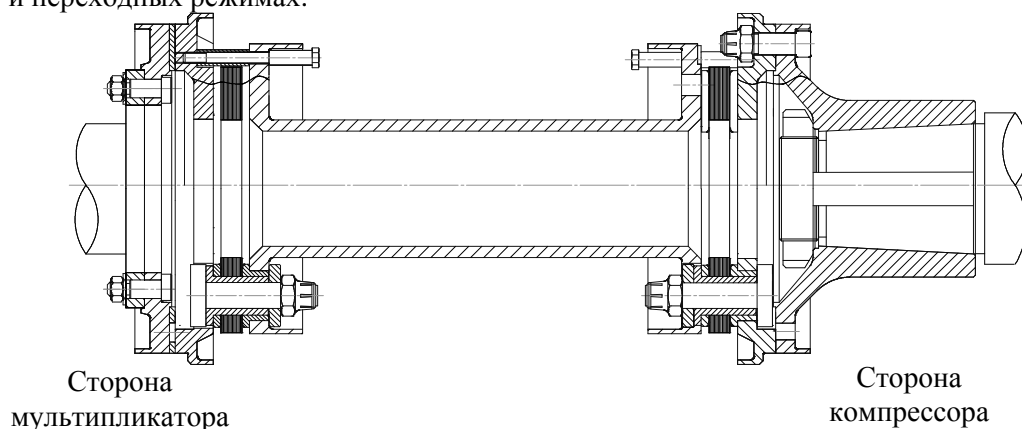


Рисунок 3 - Муфта МСК-380 для газлифтного агрегата ТКА-302

### ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Патент № 763, Україна, F16C 32/06. Підшипниковий вузол. В.С.Марцинковський, В.Г. Гриценко.
2. Свидетельство на полезную модель № 19887. Подшипниковый узел. В.С. Марцинковский, В.Г. Гриценко.
3. Патент № 3489, Республика Беларусь, Опорный подшипниковый узел (варианты). В.С.Марцинковский
4. Марцинковский В.С., Юрко В.И. Подшипники для динамического оборудования /"Химическое и нефтегазовое машиностроение" – Москва.-2002 г. № 11. –С. 32-37.



## **EXPERIENCE ON INCREASING RELIABILITY OF GAS-TRANSFER TURBOCOMPRESSOR UNITS FOR GAS-LIFT OIL RECOVERY**

**Victor Minko,  
JSC Sumy Frunze NPO**

**Igor Ovseyko, Yuri Filonenko,  
TRIZ Ltd**

### **SUMMARY**

*There performed comparative analysis of operating performances for five – shoe journal bearings and damping bearings with self-aligning inserts on hydrostatic suspension. There described the advantages of couplings with elastic metallic elements in comparison with gear couplings.*

**Keywords: five – shoe journal bearing, damping bearing with self-aligning inserts on hydrostatic suspension, gear coupling, coupling with elastic metallic elements.**